



**Registrazione di terremoti con geofoni  
da sismica attiva in downhole**

**Ezio D'Alema, Simone Marzorati e Paolo Augliera**

---

**RAPPORTO TECNICO INGV-MI**

**Luglio 2005**

**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**

**Sezione di MILANO**

Via Bassini 15 - 20133 Milano

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)



## Riassunto

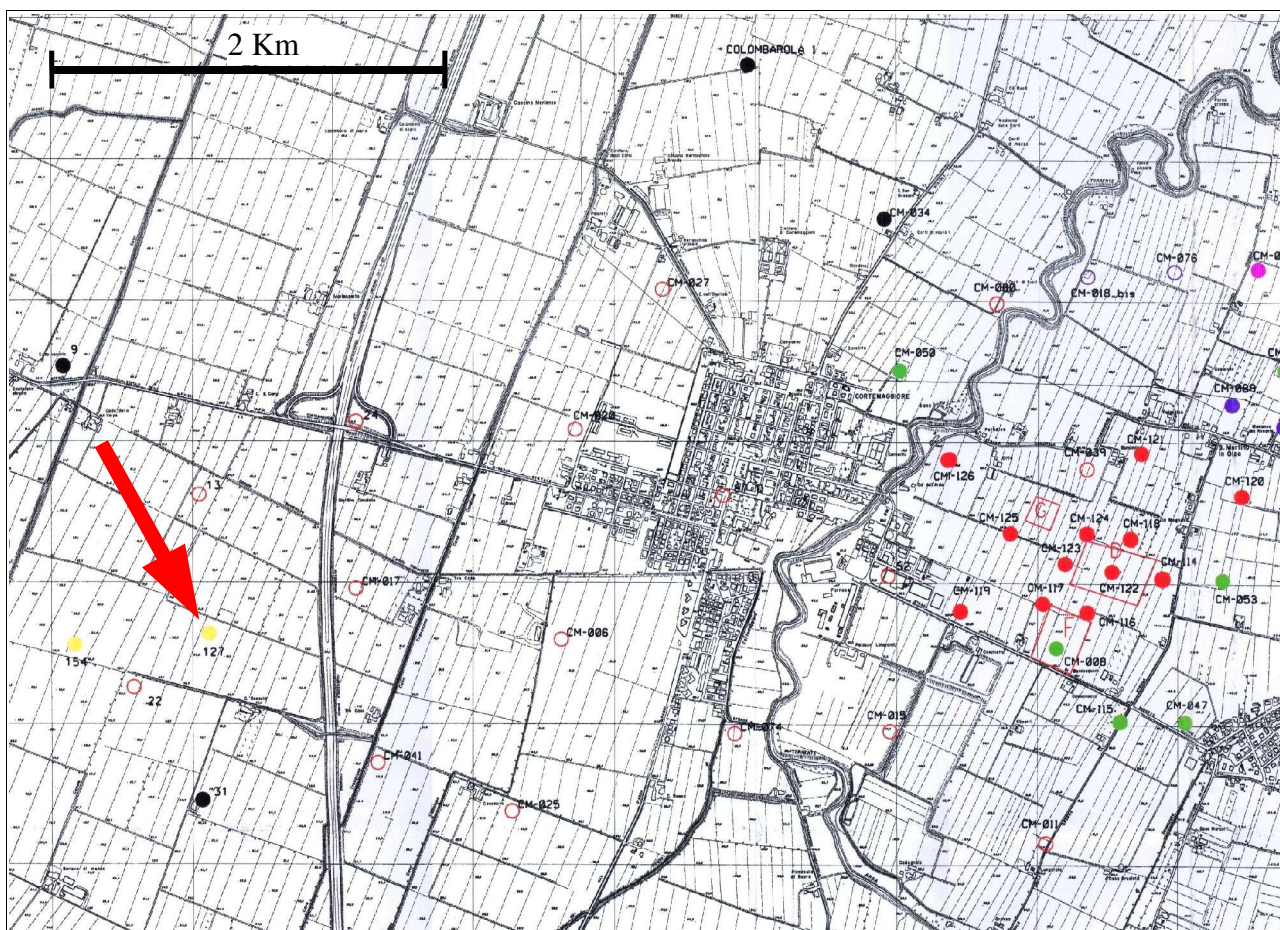
La Pianura Padana è caratterizzata da condizioni geologico-stratigrafiche (elevati spessori di depositi alluvionali) ed antropiche (area a maggior industrializzazione in Italia con estese fonti di rumore) sfavorevoli alla detezione di terremoti. L'installazione di sensori in pozzo, a profondità superiori ai 100 metri, permette un notevole guadagno nel rapporto segnale/rumore per frequenze superiori ad 1 Hz ma con costi non trascurabili rispetto ad una installazione in superficie. A Cortemaggiore (PC) è stato perforato, agli inizi degli anni 90 per scopi di ricerca aziendale, un pozzo che raggiunge la profondità di circa 1600 metri. Tale pozzo, di proprietà di una società del Gruppo ENI, era stato strumentato con una stringa di geofoni (frequenza propria 14 Hz) adatti a studi di sismica attiva. L'ultimo controllo di funzionalità della stringa era stato effettuato nel dicembre 1997. Dopo aver verificato il corretto funzionamento dell'apparato, in questo rapporto viene valutata la possibilità di utilizzare tali geofoni anche per la registrazione di terremoti.

## 1. Introduzione

Il pozzo Cortemaggiore 127 è stato utilizzato dall'AGIP agli inizi degli anni 90 per la sperimentazione di tecniche di registrazione di dati di sismica attiva in pozzo. La perforazione raggiunge 1606 m ed il pozzo era stato attrezzato con 50 terne di geofoni con frequenza propria 14 Hz. La stringa (geofoni e cavo) era stata cementata all'interno del foro. I geofoni sono collocati nell'intervallo compreso tra 944 e 1598 m dal piano campagna, in particolare sono posti ogni 18 metri tra 944 e 1358 m di profondità ed, in seguito, ogni 9 metri. La strumentazione è indicata per scopi differenti rispetto alla registrazione di terremoti ed è inattiva dal dicembre 1997, nonostante ciò la disponibilità di pozzi strumentati a tali profondità è estremamente rara nel nostro paese ed è interessante verificare sperimentalmente se sia possibile ricavare informazioni sismologicamente utili. La costruzione ex-novo di pozzi profondi presenta ovviamente dei costi non trascurabili (circa 10.000 Euro per sensori 1 Hz con 100 metri di cavo, escluse le spese per il foro). Sensori da pozzo, appositamente predisposti per l'analisi di terremoti, sono stati collocati a profondità dell'ordine dei 150 metri, a Casaglia (FE) ed a Città di Castello (PG). In queste installazioni si sono comunque presentate difficoltà, a causa ad esempio di allagamenti del foro o per malfunzionamenti negli apparati di acquisizione. L'esperimento descritto nel presente rapporto è stato effettuato dal 26/05/2005 al 23/06/2005 in collaborazione con ENI S.p.a. ed in particolare con personale appartenente a E&P Division, Snamprogetti div. Aquater e con il supporto informativo e logistico di Stogit, presso il cui Polo Operativo di Cortemaggiore è ubicato il pozzo 127.

Sono stati installati 4 sistemi di acquisizione sismica collegati a differenti sensori: 1 sensore triassiale Trillium ed 1 sensore triassiale LE3D/Lite in superficie; 3 canali verticali di sensori SM-15 in pozzo alla profondità di 944, 1124 e 1304 m; 2 terne triassiali di sensori SM-15 in pozzo alla profondità di 1484 e 1592 m accoppiate ad un acquisitore a 6 canali. L'INGV-MI ha gestito 3 stazioni sismiche collegate ai sensori in superficie ed ai 3 canali verticali a profondità di 944, 1124 e 1304 m, mentre E&P Division, Unità Acquisizione ed Elaborazioni Sismiche ha gestito la stazione collegata alle 2 terne di sensori alla profondità di 1484 e 1592 m. In questo rapporto tecnico saranno analizzate solo le stazioni gestite dall'INGV-MI.

La zona studiata è situata in Pianura Padana, poco al di fuori del centro abitato del Comune di Cortemaggiore (Piacenza), e presenta dei livelli di noise tipici di queste aree altamente industrializzate; a poca distanza dal pozzo sono presenti un'autostrada e diversi canali di irrigazione dei campi; inoltre in tutta l'area sono presenti pozzi di produzione e stoccaggio di gas naturale (Fig. 1). Il pozzo 127 attraversa formazioni alluvionali, fino a raggiungere alla profondità di circa 1500 m



**Figura 1.** Inquadramento dell'area; la freccia rossa indica dove è situato il Pozzo Stogit n° 127 rispetto al centro urbano di Cortemaggiore e all'autostrada.

le Sabbie di Cortemaggiore considerate il reservoir del bacino (Rapporto tecnico AESI, 2005).

Prima di passare alla fase operativa delle installazioni è stato necessario eseguire un sopralluogo per verificare lo stato della strumentazione esistente. Durante questo sopralluogo i colleghi dell'ENI hanno verificato tutti i collegamenti elettrici esistenti ed individuato i pochissimi sensori non utilizzabili poiché danneggiati nel corso del tempo. In particolare, essendo i sensori di tipo passivo, ad ognuno di essi è stata applicata una bassa tensione di corrente in modo da sbloccare la bobina elettrica presente all'interno di essi.

## 2. Strumentazione utilizzata

Sono state installate due stazioni velocimetriche in superficie ed una collegata con i sensori in pozzo. Per poter realizzare questo tipo di installazione è stato necessario usare alcuni accorgimenti tecnici per poter garantire una buona affidabilità delle registrazioni e poter fornire una fonte di energia sufficiente al funzionamento dell'intero sistema. Nella Tabella 1 sono riportate le sigle delle stazioni e le tipologie strumentali.



Sigla Stazione	Acquisitore	Sensore	Frequenza di campionamento	Tipo registrazione
COR2	Mars88/MC	Trillium	62,5 Hz	Trigger
CORS	Reftek -130	LE3D/Lite	100 Hz	Continuo
CORP	Reftek -130	SM-15	250 Hz	Continuo

**Tabella 1.** Riepilogo stazioni installate. Le stazioni in superficie COR2 e CORS sono state accoppiate a sensori tricomponenti, mentre la stazione CORP è stata accoppiata con tre componenti verticali di sensori installati a tre differenti profondità.

### Sito in superficie: Stazione COR2

La stazione COR2 è costituita da un acquisitore Lennartz di tipo Mars88 Modem Control accoppiata con un sensore broad band Trillium. L'acquisitore Mars88 è un digitalizzatore a tre canali a 16 bits/canale di dinamica, dotata di una RAM di 4 Mb ed è collegato al centro di acquisizione dati di Milano dell'INGV tramite un modem telefonico GSM (<http://www.lennartz-electronics.de>). Per maggiori dettagli sull'architettura del sistema di acquisizione dati utilizzato dall'INGV-MI si veda il rapporto tecnico INGV (D'Alema e Marzorati, 2004). Nella Fig. 2 sono indicati i parametri di configurazione usati per questa stazione; come si può osservare è stata configurata una registrazione a tipologia “trigger” e non in continuo, quindi il segnale sismico che viene archiviato è solo quello che supera una determinata soglia di energia, determinata dai parametri SCALE, RATIO, LEVEL, STA e LTA.

```
# STAZIONE MARS88 COR2 (Cortemaggiore)

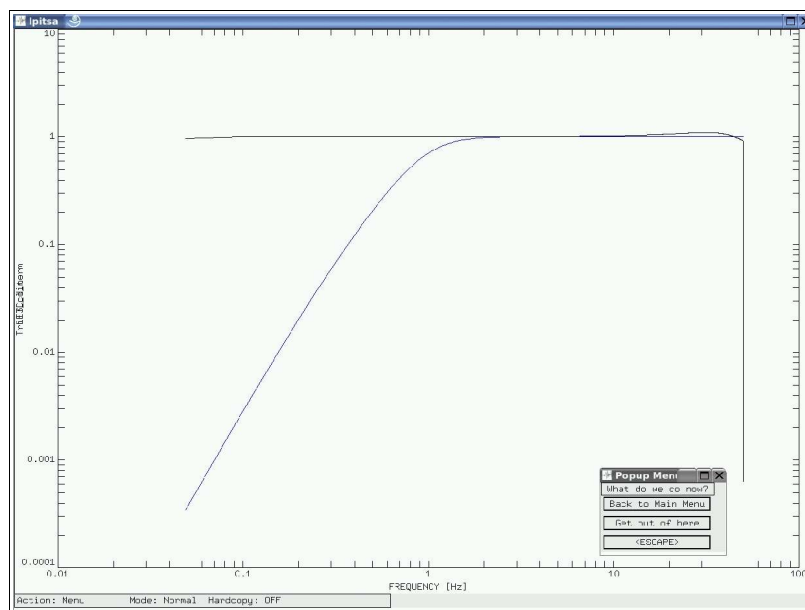
# 26/05/2005 *****INSTALLAZIONE Cortemaggiore (PC)*****
# 23/06/2005 *****Disinstallazione *****

ID54
# COORDINATE Latitudine (Gradi) Longitudine (Gradi) Quota (Km)
44.9905 9.9076 0.100

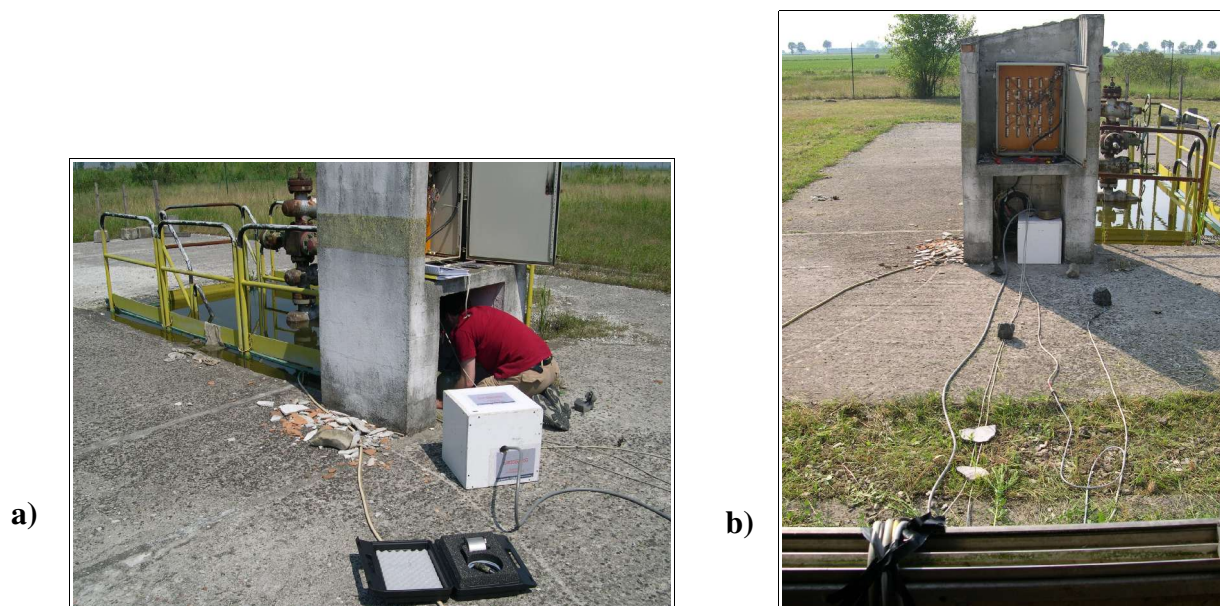
l> par
SElected parameter set: 0
TEXT: "Stazione Cortemaggiore"
SAMPLE rate: 16 msec [bandwidth DC..25 Hz]; 3 CHANNEL(s)
PRE_event time: 3 block(s) [24 s], POST_event time: 6 block(s) [48 s]
COIncidence sum: 2; MONitor channel on
```

Parameter	Channel 0	Channel 1	Channel 2 [ext]
-----+	-----+	-----+	-----+
SCALE	32	32	32
-----+	-----+	-----+	-----+
Trigger WEight	1	1	1 0
Trigger UPTime	8	8	8
STA time const.	.080 [ 1 s]	.080 [ 1 s]	.080 [ 1 s]
LTA time const.	.001 [100 s]	.001 [100 s]	.001 [100 s]
Trigger LEVel	5 counts	5 counts	5 counts
Trigger RATIO	3.500	3.500	3.500
Low pass corner	.160 [ 10 Hz]	.160 [ 10 Hz]	.160 [ 10 Hz]
High pass corner	.010 [ 1 s]	.010 [ 1 s]	.010 [ 1 s]
-----+	-----+	-----+	-----+

**Figura 2.** Parametri di configurazione utilizzati per la stazione “COR2” MARS88/MC.



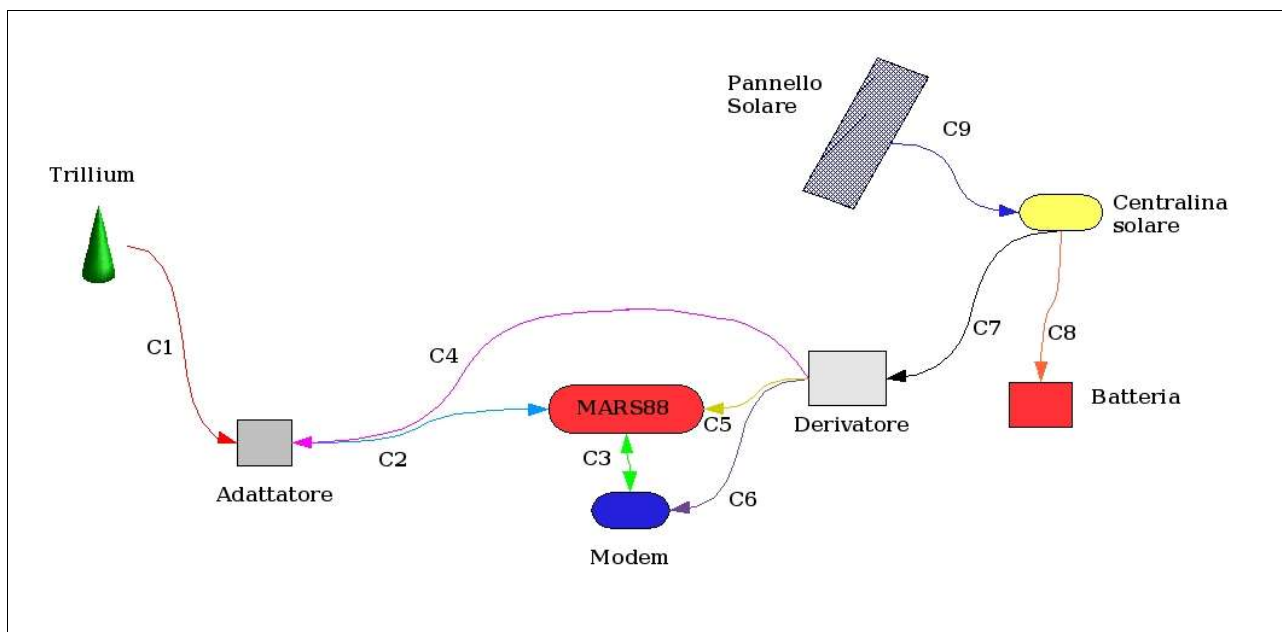
**Figura 3.** Curve di risposta normalizzate dei sensori Trillium (sensibilità pari a 1500 V/m/s), tratto in nero, e Lennartz LE3D/Lite (sensibilità pari a 400 V/m/s), tratto in blu.



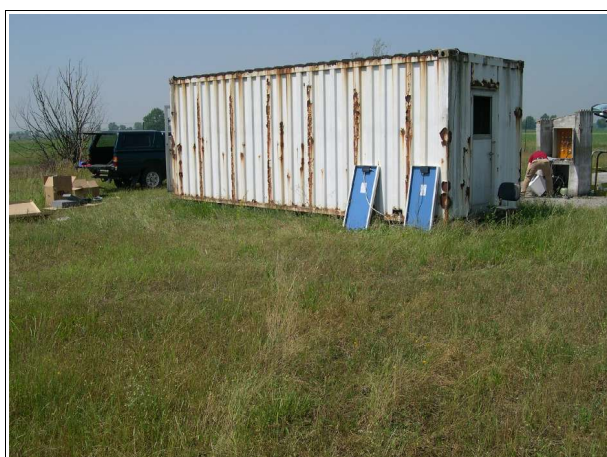
**Figura 4.** Sensore Trillium e LE3D/Lite: **a)** fasi di installazione; **b)** installazione definitiva.

Il collegamento con il centro di acquisizione dati avviene per mezzo di un modem GSM “Industrial BASE GSM” della ditta “Audiotel”; la velocità di trasmissione dati è stata posta pari a 19200 bps. Il segnale del tempo per la sincronizzazione del sistema è ottenuto per mezzo di un radiosegnale DCF emesso da una stazione europea a Francoforte in Germania.

Il sensore utilizzato è un Trillium broad band con periodo proprio di 40 s, smorzamento relativo pari 0.707 ed una costante di generazione uguale a 1500 V/m/s (Fig. 3) (<http://www.nanometrics.ca>). Lo strumento è stato installato nella nicchia della struttura in cemento che contiene il quadro di derivazione elettrica di tutti i sensori del pozzo. Essendo tale sensore particolarmente sensibile alle variazioni della temperatura, è stato protetto con un contenitore in legno massiccio, foderato al suo interno con un foglio di spessore di 3 cm in polistirene (Fig. 4).



**Figura 5.** Schema dei collegamenti per la stazione COR2; le sigle dei cavi con descrizione sono analizzate in dettaglio nella tabella 2.



**Figura 6.** Foto del container che ha ospitato le stazioni sismiche; sul lato esposto a Sud (foto a sinistra) sono stati installati i pannelli solari; sul lato a Nord (foto a destra) sono stati fatti passare i collegamenti ai sensori direttamente dalle finestre. La freccia rossa, sulla parte sinistra di quest'ultima foto, indica la posizione dell'antenna DCF.

Poiché l'acquisitore Mars88 è in grado di alimentare un sensore sismico fornendo una corrente massima di 50 mA mentre il Trillium necessita di una corrente pari a 110 mA durante le operazioni di ricentratura delle sue masse, è stato necessario progettare e costruire un sistema di alimentazione esterna dello stesso sensore, in grado di fornire una quantità di corrente adeguata. La stazione, perciò, è stata alimentata con un pannello solare ed una batteria tampone; lo schema dell'architettura del sistema è rappresentato in Fig. 5: nella tabella 2 sono descritte brevemente le tipologie dei cavi utilizzati. Gli acquisitori, sia la Mars88 sia le due Reftek 130, sono stati posizionati all'interno di un container dismesso, così come le batterie con le relative centraline regolatrici (Fig. 6).

<i>Sigla</i>	<i>Descrizione</i>
Trillium	Sensore
C1	Cavo sensore Trillium
Adattatore	Scatola a tenuta stagna in metallo con due ingressi (IN) ed un'uscita (OUT): IN-1 = cavo del trillium; IN-2 = alimentazione 12V; OUT = connettore femmina cavi Lennartz.
C2	Cavi sensori tipo Lennartz
MARS88	Stazione completa di DCF
C3	Cavo collegamento Modem GSM alla MARS88
Modem	Modem GSM con antenna
Derivatore	Scatola in PVC con un ingresso (IN) e tre uscite (OUT) ottenute con collegamento a ponte in morsettiere standard mammout: IN= alimentazione; OUT1= modem; OUT2= MARS88; OUT3= alimentazione Trillium (cavo C4)
C4	Cavo elettrico alimentazione a 2 poli
C5	Cavo elettrico alimentazione MARS88
C6	Cavo elettrico alimentazione Modem
C7	Cavo elettrico 2 poli
C8	Cavo elettrico 2 poli con terminazione a coccodrillo o con occhiello in base al tipo di batteria
Centralina solare	Centralina regolatrice per pannelli solari
C9	Coppia di cavi monopolare per alimentazione pannello solare
Pannello solare	Pannello solare fotovoltaico da 50 W
Batteria	Batterie a tampone 12V da 65Ah

**Tabella 2.** Descrizione Schema dei collegamenti per la stazione COR2; le sigle dei cavi con descrizione sono relative alla Figura 5.



**Figura 7.** Foto degli acquisitori installati dall'INGV-MI all'interno del container: nella parte alta della foto, in primo piano si osservano le due Reftek-130, in secondo piano la Mars88. In basso sono visibili le batterie ed una scatola di derivazione elettrica.



### Sito in superficie: stazione CORS

La stazione “CORS” è costituita da un acquisitore Reftek-130 con un sensore velocimetrico Lennartz del tipo LE3D/Lite. La Reftek-130 è un trasduttore a tre canali a 24 bits/canale di dinamica, dotata di una RAM da 1 Mb (<http://www.reftek.com>). L'archiviazione dei dati avviene tramite copia del contenuto della RAM su due CompactFlash (in questo caso da 1Gb ciascuna). La frequenza di campionamento è stata posta uguale a 100 Hz con un guadagno unitario su ogni canale ( $GAIN = 1$ ); l'acquisizione è avvenuta in modo continuo. Al fine di ottimizzare al meglio la gestione dei dati è stato scelto di far creare all'acquisitore, per ogni giorno, 24 files relativi ad ogni ora, impostando quindi una lunghezza della finestra di “stream” pari a 3600 secondi. La stazione è sincronizzata tramite un segnale GPS, la cui antenna è stata installata sul tetto del container. La gestione dell'acquisizione del segnale avviene tramite l'uso di un palmare, mediante il quale si possono impostare tutti i parametri di configurazione della stazione. Il sensore LE3D/Lite ha un periodo proprio di 1 s con una costante di generazione pari a 400 V/m/s ed uno smorzamento pari a 0.707 (Fig. 3). Anche questo sensore è stato installato nella nicchia della struttura di cemento che ospita la cassetta di derivazione elettrica dei sensori in pozzo (Fig. 4) a pochi centimetri dal Trillium, ma non è stato necessario proteggerlo con la scatola di coibentazione. Per poter utilizzare questo sensore con l'acquisitore Reftek-130 è stato costruito un adattatore per il cavo sensore: i sensori Lennartz, infatti, utilizzano connettori di tipo militare a 10 poli, mentre la Reftek-130 utilizza connessioni con connettori a 19 poli. In figura 8 si può osservare il cavo costruito della lunghezza di circa 50 cm, utilizzato con due prolunghe standard dei cavi sensori tipo Lennartz. La stazione CORS è stata alimentata da un pannello solare da 50 W con una centralina regolatrice ed una batteria tampone da 65 Ah a 12 V.



**Figura 8.** Cavo adattatore costruito per connettere un sensore di tipo Lennartz ad un acquisitore Reftek-130.



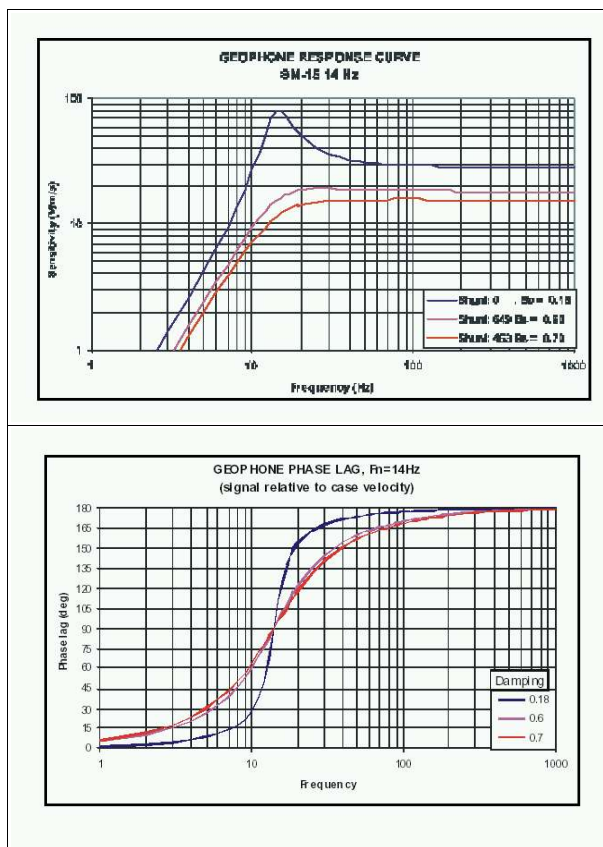
**Figura 9.** Il sensore LE3D/Lite è stato installato tra la scatola di protezione termica del Trillium e la parete della nicchia in cemento.



### Sito in pozzo: stazione CORP

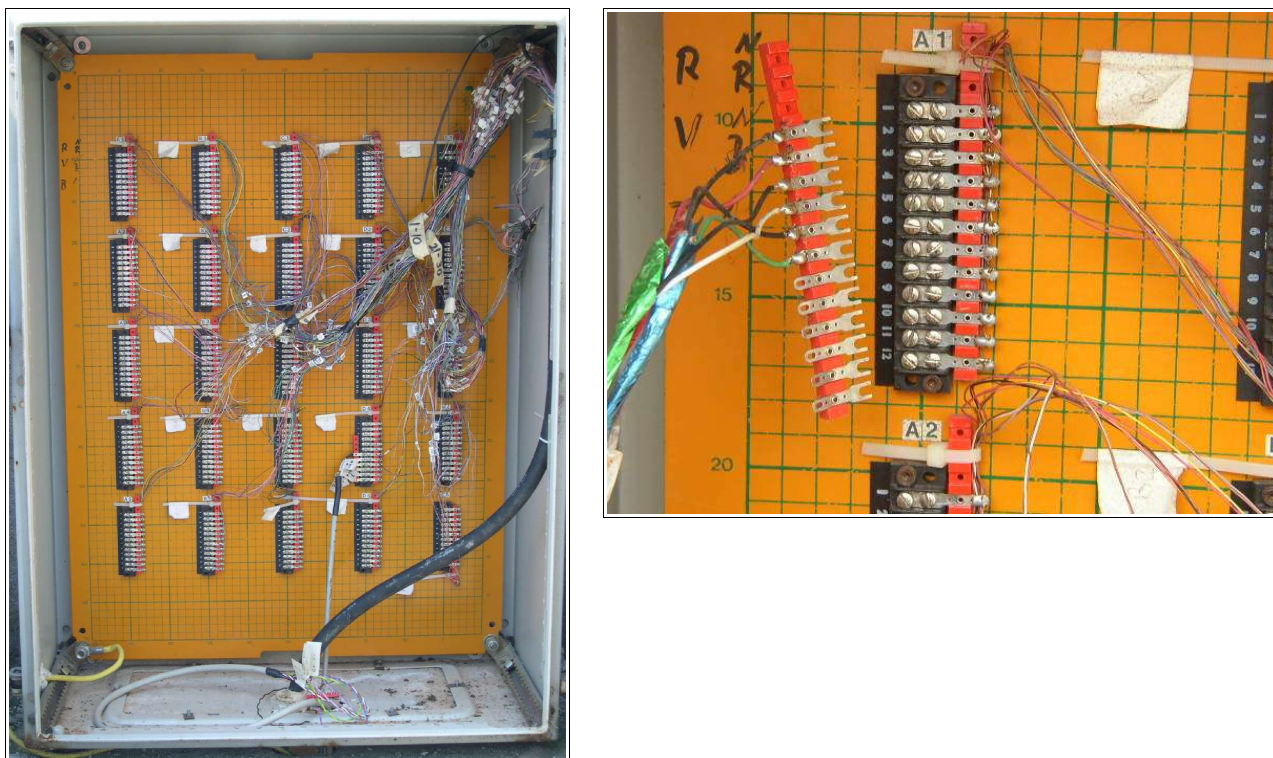
La stazione “CORP” è costituita da un acquisitore Reftek-130 collegato alle 3 componenti verticali dei geofoni in pozzo. Il pozzo, come visto in precedenza, è profondo circa 1600 metri ed è dotato di terne di sensori mono-componente del tipo “SM15”; nella Tabella 3 sono riportati i nomi dei livelli e la relativa profondità di installazione. La seconda colonna indica la profondità rispetto alla testa del pozzo, mentre nella terza colonna le profondità sono calcolate rispetto al piano di campagna.

Livello	Profondità (m/KB)	Profondità (m/PC)	Nord-H1 (gradi)
1	950	944	52
2	968	962	79
3	986	980	86
4	1004	998	54
5	1022	1016	117
6	1040	1034	134
7	1058	1052	206
8	1076	1070	218
9	1094	1088	235
10	1112	1106	254
11	1130	1124	253
12	1148	1142	275
13	1166	1160	331
14	1184	1178	287
15	1202	1196	325
16	1220	1214	57
17	1238	1232	41
18	1256	1250	69
19	1274	1268	88
20	1292	1286	92
21	1310	1304	149
22	1328	1322	110
23	1346	1340	127
24	1364	1358	187
25	1373	1367	256
26	1382	1376	324
27	1391	1385	285
28	1400	1394	322
29	1409	1403	325
30	1418	1412	358
31	1427	1421	20
32	1436	1430	44
33	1445	1439	86
34	1454	1448	37
35	1463	1457	353
36	1472	1466	115
37	1481	1475	77
38	1490	1484	99
39	1499	1493	144
40	1508	1502	86
41	1517	1511	145
42	1526	1520	130
43	1535	1529	182
44	1544	1538	191
45	1553	1547	231
46	1562	1556	234
47	1571	1565	220
48	1580	1574	223
49	1589	1583	221
50	1598	1592	214



**Figura 10.** Caratteristiche dei sensori SM15. Nella parte alta è disegnata la curva di risposta in frequenza, mentre nella parte in basso è disegnata la fase. Le tre curve sono relative a diversi valori di smorzamento: 0.15 tratto blu; 0.6 tratto rosa e 0.7 tratto rosso.

**Tabella 3.** Posizione dei sensori da pozzo SM15. Nella seconda colonna la profondità è rispetto alla testa del pozzo; nella terza rispetto al piano di campagna e nella quarta è indicata la rotazione della componente orizzontale Nord-Sud rispetto al Nord. Le tre frecce evidenziano i sensori utilizzati per la stazione CORP.



**Figura 11.** Nella parte sinistra è visibile la scatola di derivazione elettrica dei sensori da pozzo; nella parte destra è stato eseguito uno zoom di dettaglio su una morsettiera dei contatti elettrici.

I sensori SM15 sono sensori di tipo passivo, con frequenza propria pari 14 Hz, smorzamento teorico pari a 0.6 e costante di generazione pari a 28.8 V/m/s. Ogni singolo sensore è collegato in superficie con una coppia di cavi elettrici, per un totale di 100 cavi elettrici, contenuti in una guaina di protezione e debitamente schermata. Nella Fig. 11 si osserva la scatola di derivazione elettrica con tutti contatti dei sensori; ogni morsettiera dei contatti, visibile in dettaglio nella parte destra della Fig. 11, è costituita da 12 contatti elettrici: andando dall'alto verso il basso i contatti sono relativi al segnale positivo e negativo della componente verticale, orizzontale Nord-Sud ed orizzontale Est-Ovest. Per ogni sensore, quindi, sono necessari 6 contatti elettrici e di conseguenza ogni morsettiera collega due terne sensori SM15. L'ordine dei collegamenti, facendo riferimento alla stessa figura, nella parte sinistra, è il seguente: il sensore più superficiale, quello del livello 1 posto a profondità 944 m, è collegato alla morsettiera in alto a sinistra e spostandosi verso il basso nella stessa colonna, aumenta la profondità del sensore collegato. Ad esempio, il sensore 10 è collegato agli ultimi 6 contatti elettrici della quinta morsettiera della prima colonna. Il sensore del livello 50, il più profondo, è collegato alla morsettiera in basso a destra nell'ultima colonna. Durante il sopralluogo, per testare i collegamenti elettrici dei sensori, sono stati adottati alcuni accorgimenti per cercare di recuperare al meglio la funzionalità degli strumenti, essendo in disuso da circa dieci anni. Ogni sensore passivo è stato energizzato con una batteria esterna dai colleghi dell'ENI per far in modo di liberare le masse eventualmente bloccate nelle bobine; questa operazione è stata ripetuta anche durante l'installazione, collegando una batteria da 1.5 V.

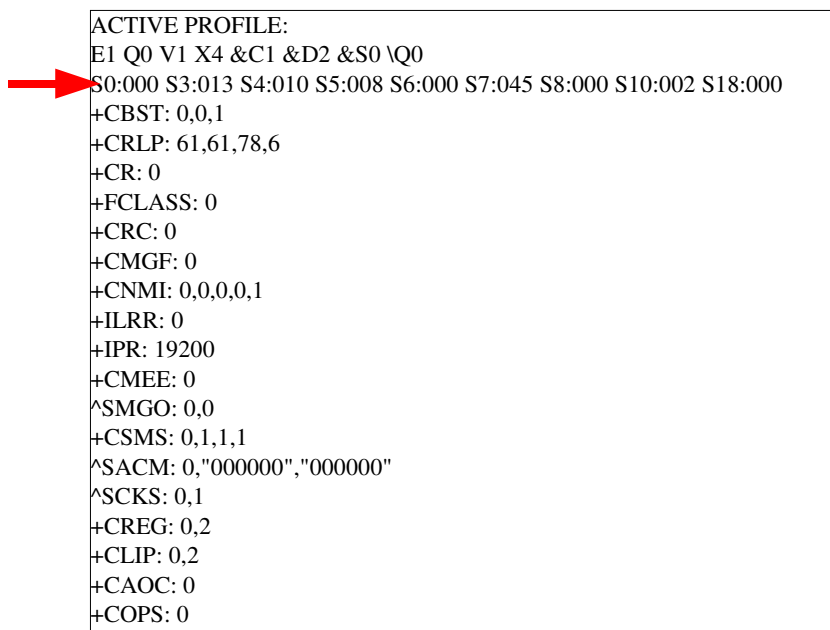
Avendo a disposizione un digitalizzatore a 3 canali, è stato scelto di collegare alla Reftek-130 tre componenti verticali di tre sensori posti a profondità diverse e non la terna di sensori a uguale profondità; i sensori scelti sono stati quelli dei livelli 1,11,21 in quanto risultavano elettricamente in buono stato e comunque posti a profondità diverse, 944, 1124 e 1304 m rispettivamente. Per realizzare i collegamenti è stato costruito un cavo sensore del tipo “open-end”, lasciando 3 coppie di trefoli lunghi circa 20 cm da un lato e dall'altro un connettore a 10 poli maschio; questo cavo è stato collegato ad un altro cavo appositamente costruito per collegare la Reftek-130 che è dotata di

connettori a 19 poli con un cavo a 10 poli. La coppia di trefoli del sensore 1 è stata collegata, avvitandola alla morsettiera, alla componente 1 della Reftek-130; il sensore 11 alla componente 2 ed il sensore 21 alla componente 3. La frequenza di campionamento è stata configurata uguale a 250 Hz ad alto guadagno (GAIN=32) su ogni canale e l'acquisizione è avvenuta in modo continuo con stream di 3600 secondi; la stazione è stata alimentata tramite un pannello solare da 50 W e con batteria tampone da 65 Ah da 12 V.

### 3 Risultati e discussione.

L'esperimento, oltre a fornire molte informazioni utili per l'analisi e la gestione dei segnali registrati da sensori in pozzo, ha permesso di valutare il corretto dimensionamento dei sistemi di alimentazione tramite pannelli solari. Durante i 27 giorni di durata dell'acquisizione dati si è verificato unicamente un guasto ad una delle stazioni. La stazione COR2 era collegata al centro di acquisizione dati dell'INGV-MI tramite modem GSM. Dopo circa 10 giorni di funzionamento il segnale non veniva più trasmesso alla sede e durante la fase di disinstallazione è stato possibile individuare la natura del problema tecnico. La stazione è stata trovata regolarmente accesa ed in funzione, con una tensione della batteria tampone di 12.7 V; il modem era in posizione di attesa, ma risultava attivo. La natura del mancato collegamento doveva essere sicuramente di natura telefonica in quanto, controllando tutti i parametri di configurazione dell'acquisitore, non sono state notate anomalie. In casi simili di malfunzionamento è stato verificato che un picco di tensione (causato ad esempio da fulmini nelle vicinanze dell'installazione) resetta la configurazione del modem, cambiandone la velocità di trasferimento dati e rendendo così impossibile la comunicazione tra lo stesso modem e l'acquisitore Mars88.

Usando un programma di comunicazione a terminale “minicom” per Linux che sfrutta i comandi standard AT è stato individuato invece un altro parametro anomalo (Fig. 12).

A screenshot of a terminal window showing the output of an AT command configuration. The text is as follows:  
ACTIVE PROFILE:  
E1 Q0 V1 X4 &C1 &D2 &S0 \Q0  
S0:000 S3:013 S4:010 S5:008 S6:000 S7:045 S8:000 S10:002 S18:000  
+CBST: 0,0,1  
+CRLP: 61,61,78,6  
+CR: 0  
+FCLASS: 0  
+CRC: 0  
+CMGF: 0  
+CNMI: 0,0,0,0,1  
+ILRR: 0  
+IPR: 19200  
+CMEE: 0  
^SMGO: 0,0  
+CSMS: 0,1,1,1  
^SACM: 0,"000000","000000"  
^SCKS: 0,1  
+CREG: 0,2  
+CLIP: 0,2  
+CAOC: 0  
+COPS: 0  
A red arrow points to the line "S0:000 S3:013 S4:010 S5:008 S6:000 S7:045 S8:000 S10:002 S18:000".

**Figura 12.** Elenco delle variabili di configurazione del modem Industrial usato con la stazione “COR2”. Le variabili sono relative allo standard input AT; la freccia rossa indica il parametro anomalo “S0”.



ID	Data	Ora GMT	Distanza (Km)	ML	Zona	COR2 0m	CORS 0m	CORP -944m	CORP -1124m	CORP -1304m
1	28/05/05	21:48:00	-	-	-	-	V	V	V	-
2	02/06/05	10:12:08	95,5	2,6	Appennino ligure	V	V	V	V	-
3	03/06/05	18:02:50	60,1	2,2	Frignano	V	V	V	V	-
4	03/06/05	18:05:29	60,1	2,6	Frignano	V	V	V	-	-
5	03/06/05	18:08:11	59,2	2,7	Frignano	V	V	V	V	-
6	04/06/05	10:16:10	59,4	2,7	Frignano	V	V	V	V	V
7	04/06/05	17:21:40	61,2	2,2	Reggio Emilia	Guasto Modem	V	V	V	-
8	04/06/05	21:27:35	59	3,1	Frignano		V	V	V	V
9	04/06/05	21:50:31	58,7	2,9	Frignano		V	V	V	V
10	05/06/05	04:18:46	55,6	3,6	Valle del Trebbia		V	V	V	V
11	05/06/05	04:20:00	-	-	Valle del Trebbia		V	V	V	V

**Tabella 4.** Elenco dei terremoti registrati dalle stazioni sismiche installate nel corso dell'Esperimento di Cortemaggiore (PC). Il simbolo “-” indica che il terremoto non è individuabile a causa di un rapporto segnale/disturbo sfavorevole; il simbolo “V” indica che è stato registrato. La localizzazione e la magnitudo dell'evento sono state estratte dal Bollettino INGV al seguente URL: <http://www.ingv.it/~roma/reti/rms/bollettino/index.php>

La variabile “S0” rappresenta il numero di squilli del modem in risposta. Come si può vedere tale valore risulta essere “S0=000” vale a dire nessuno squillo quando il modem è raggiunto da una chiamata. Questo parametro viene configurato ad un valore diverso da zero e nello specifico l'INGV-MI usa valori “S0=001”, facendo fare solo uno squillo al modem. Anche per questo esperimento tale parametro era stato inizialmente configurato pari ad 1. Probabilmente, dopo uno sbalzo di tensione, il modem si è spento ed ha perso la configurazione iniziale. Alla riaccensione del modem tutti i parametri memorizzati sono stati riconfigurati correttamente tranne S0. E' stata richiesta una nuova versione del firmware del modem in modo da evitare tale malfunzionamento.

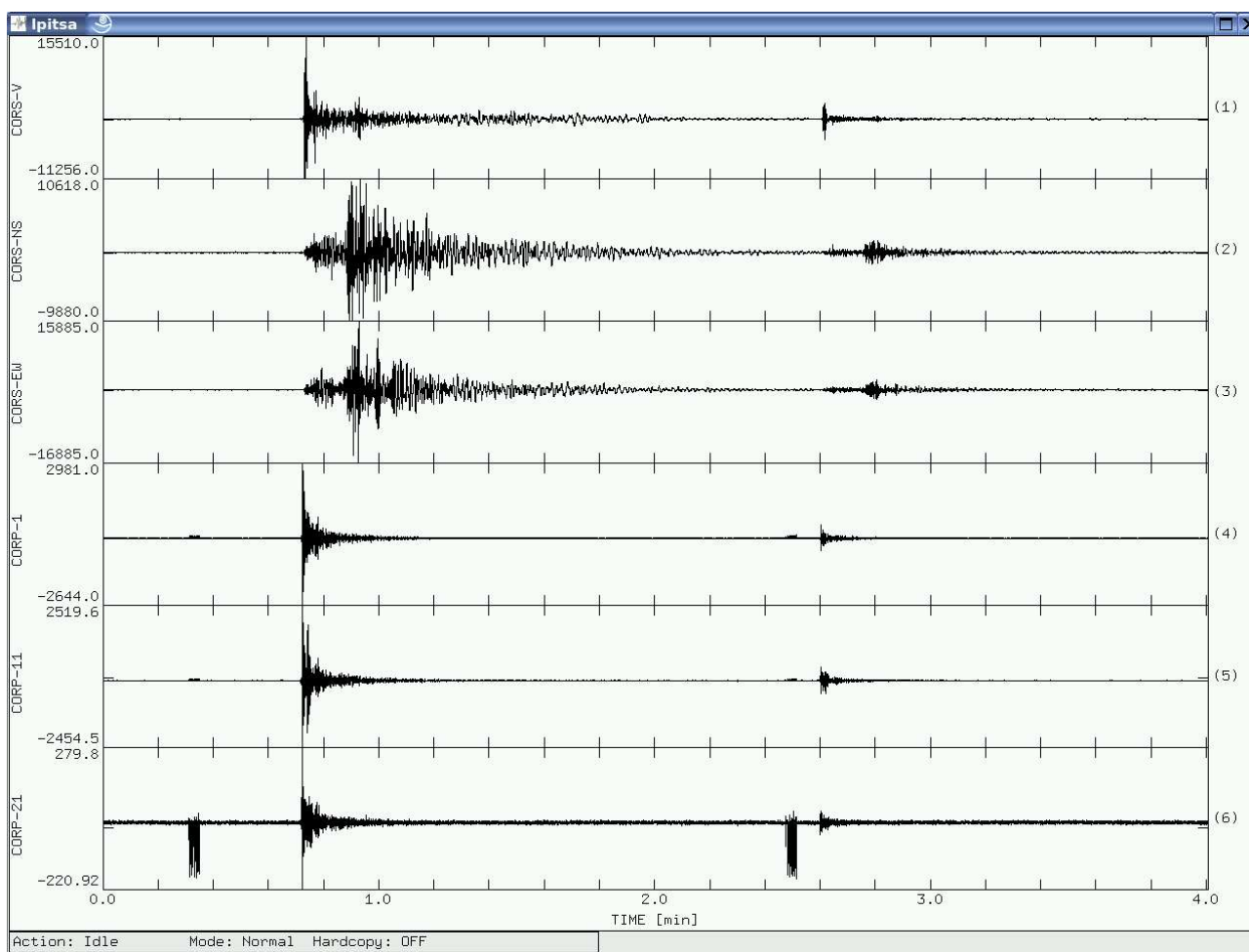
In Tab.4 sono considerati tutti gli eventi riportati dal Bollettino Sismico del Centro Nazionale Terremoti di Roma (INGV) nel periodo di installazione, in base alle coordinate focali ed alla magnitudo dell'evento è stata calcolata l'ampiezza attesa al sito di Cortemaggiore. Per una valutazione preliminare sono stati selezionati 9 eventi che in base alla definizione generica di magnitudo locale ( $M_L = \log A + 2.56 \Delta - 1.67$ ;  $\Delta$  = distanza in km, A ampiezza in micrometri), risultavano avere  $A > -0.80$ . Sono inoltre stati considerati altri 2 eventi derivati dalla visualizzazione diretta delle registrazioni e non riportati nel Bollettino. In appendice sono riportate le tracce di tutti gli eventi registrati.

La Fig. 13 è relativa all'evento del 05/06/05 alle 04:18 (GMT) di Magnitudo 3.6 in Val Trebbia e, come si può osservare, l'evento principale ha una replica dopo circa un minuto e mezzo. Nelle Fig. 14 e 15 sono disegnate nel dettaglio le tracce dell'evento principale con i relativi spettri per le stazioni CORS e CORP rispettivamente; tutte le tracce visualizzate sono espresse in counts. Come si può vedere dagli spettri eseguiti su tali tracce (fig. 15), per frequenze comprese da 0.4 a 14 Hz circa, l'energia del segnale decade a causa delle caratteristiche del sensore SM-15 che agiscono come un filtro passa alto (fig. 10); lo spettro per frequenze maggiori di 14 Hz, invece, rappresenta l'energia reale del segnale registrato. Nella Fig. 16 è stato eseguito un ingrandimento su tutte le componenti verticali delle tracce e si può osservare il ritardo del primo arrivo della fase P, andando

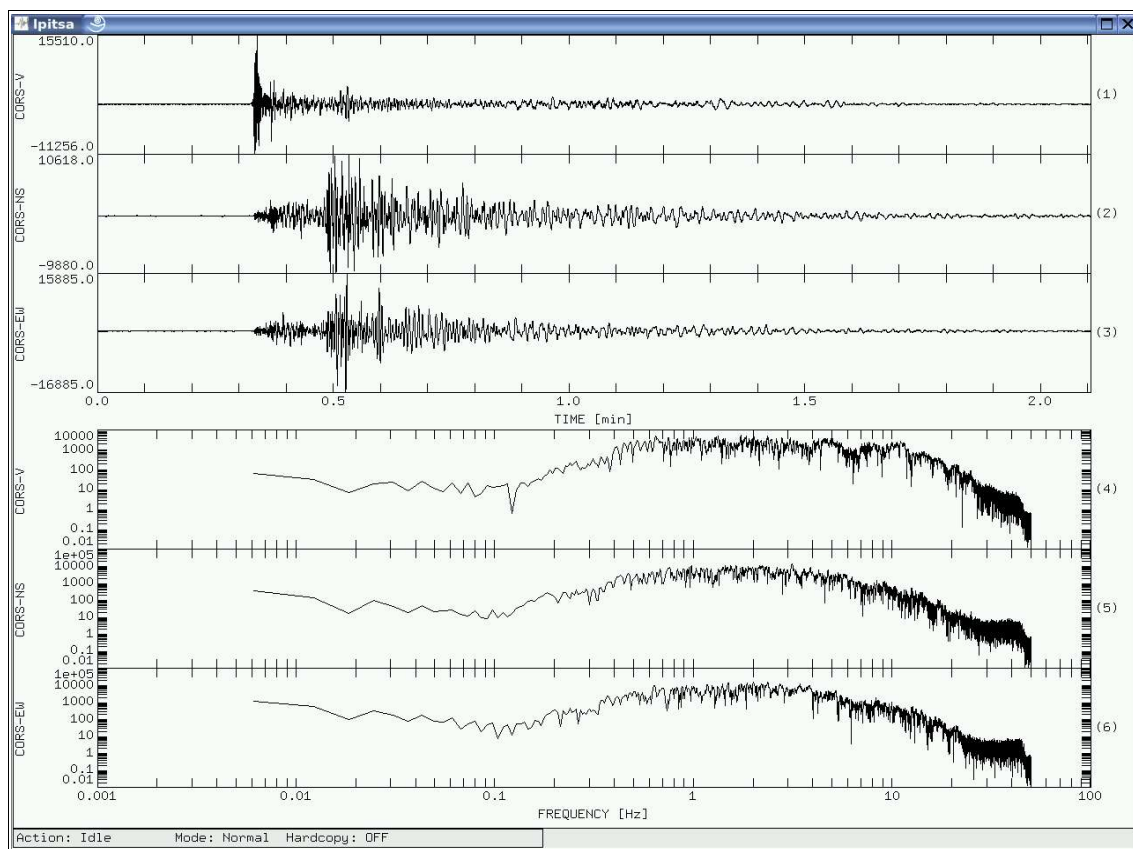
dal sensore più in profondità a quello in superficie.

Nella Fig. 17 è visibile un chiaro esempio di registrazione di un terremoto con strumentazione diversa (evento del 02/06/05 alle 10:12 GMT di  $M=2.6$ ); in essa sono riportate le tracce delle tre componenti della stazione COR2 con accoppiato il Trillium (tracce 1, 2, e 3); le tracce 4, 5 e 6 sono le tre componenti della stazione CORS con sensore LE3D/Lite; le tracce della stazione CORP con i sensori 1 (traccia 7), sensore 11 (traccia 8) e sensore 21 (traccia 9); Le tracce sono state ricampionate a 62.5 Hz, per poter essere confrontate, e non sono state filtrate.

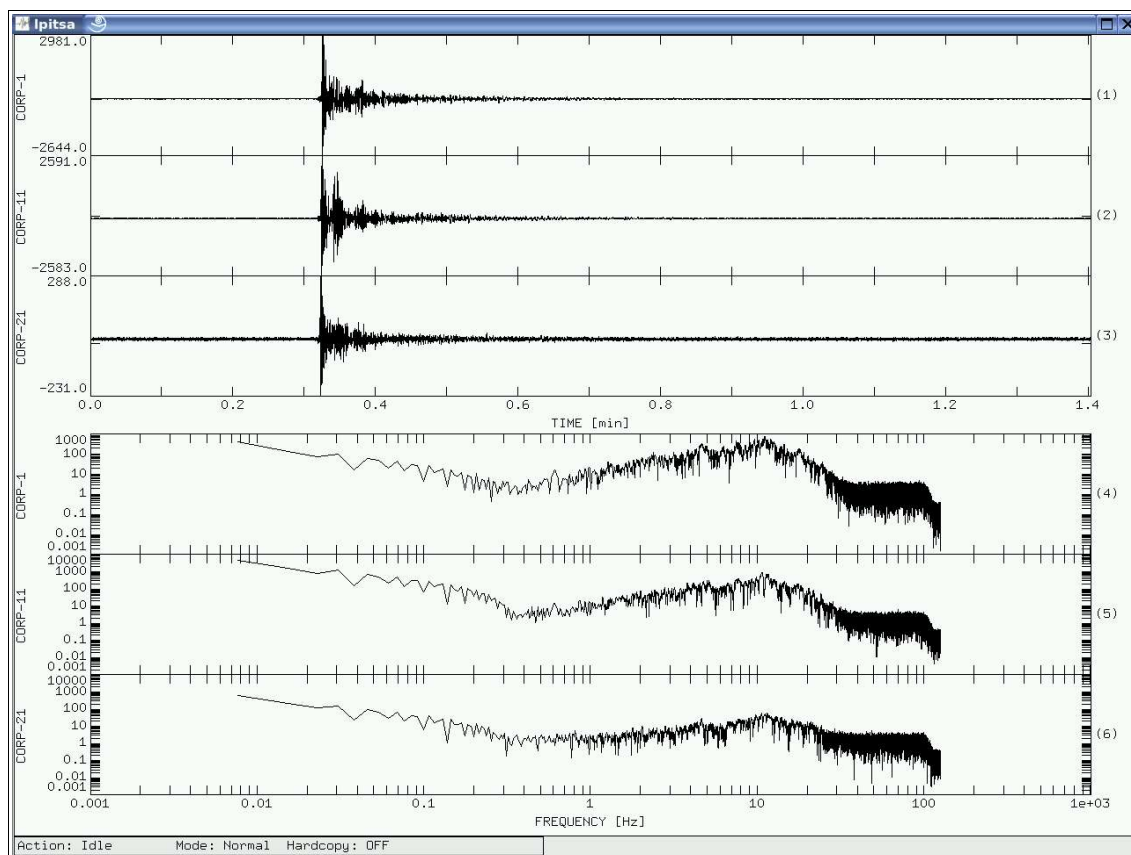
In Fig. 18. sono riportati dei segnali tipo “spike” presenti in ogni registrazione e in ogni momento della giornata; la Fig. 19 visualizza una finestra di dettaglio del segnale. Escludendo una natura sismica del segnale è ipotizzabile un disturbo di natura elettrica per i canali in pozzo, tali segnali non sono presenti nella stazione posta in superficie.



**Figura 13.** Terremoto del 05/06/05 di Magnitudo 3.6 localizzato in Val Trebbia registrato dalle tre componenti della stazione CORS, rispettivamente traccia 1, 2, 3 e dai sensori 1, 11 e 21 della stazione in pozzo CORP, tracce 4, 5 e 6. Le tracce 1, 4, 5, 6 sono componenti verticali, la 2 è la componente orizzontale Nord-Sud e la traccia è 3 la componente orizzontale Est-Ovest.

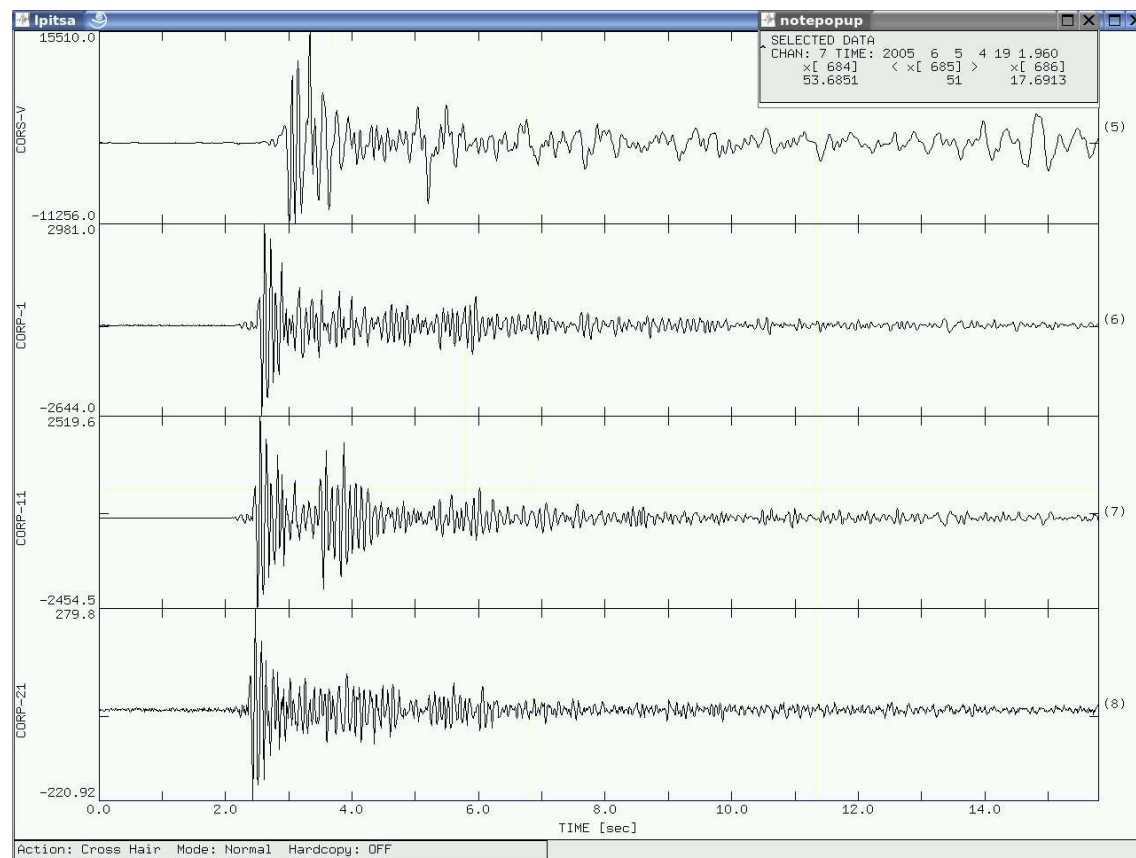


**Figura 14.** Stazione CORS. Tracce e relativi spettri del terremoto M=3.6.

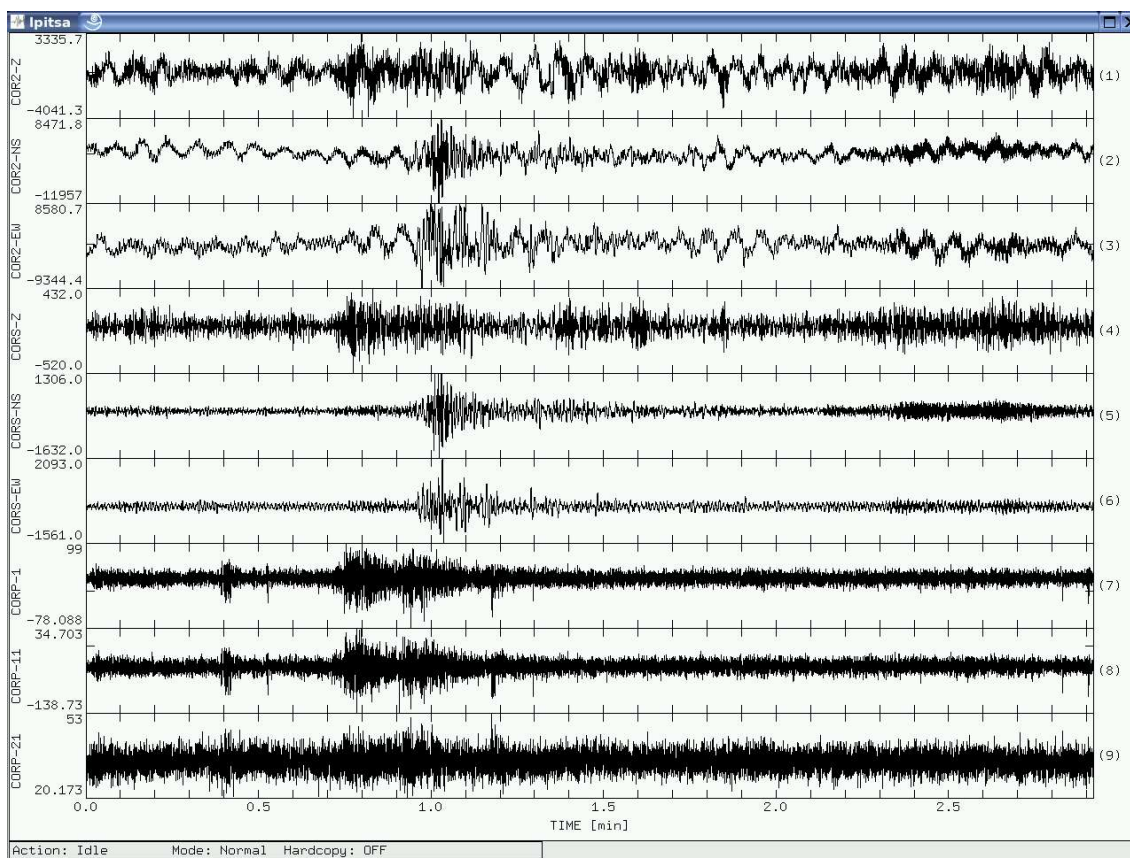


**Figura15.** Stazione CORP. Tracce e relativi spettri del terremoto M=3.6.

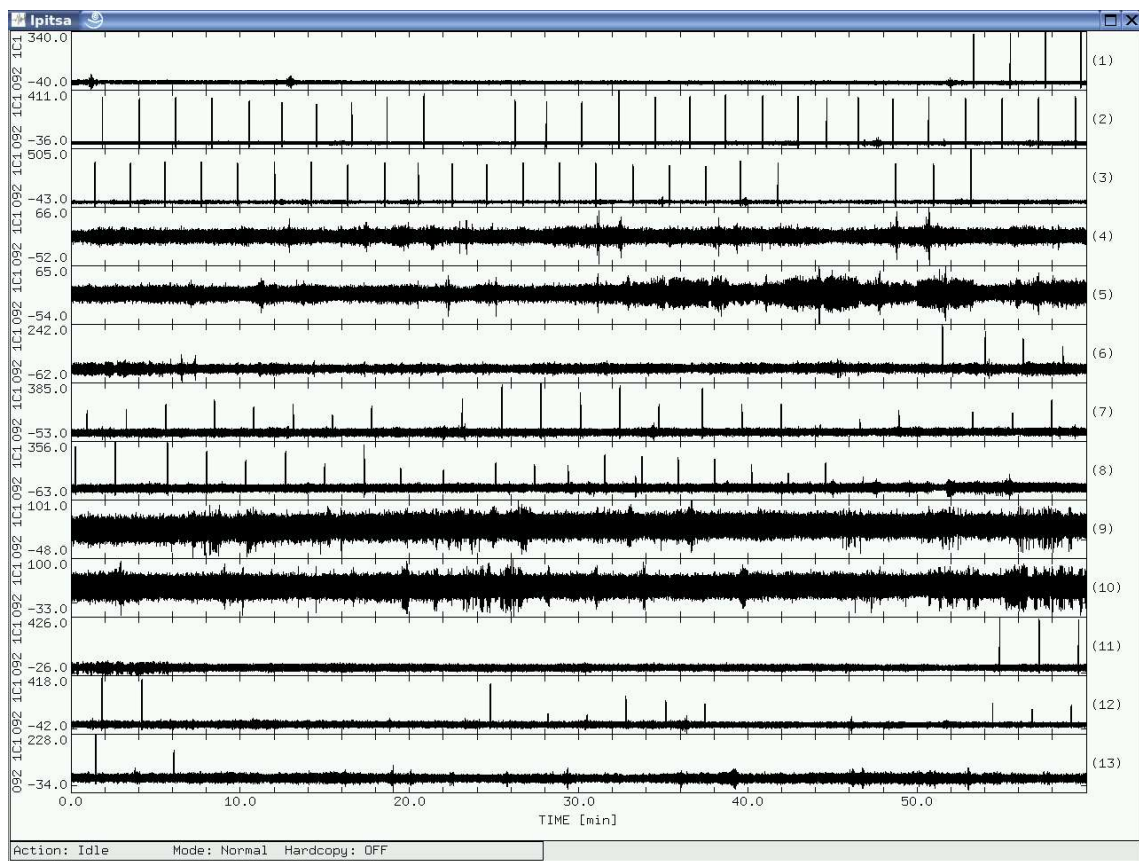




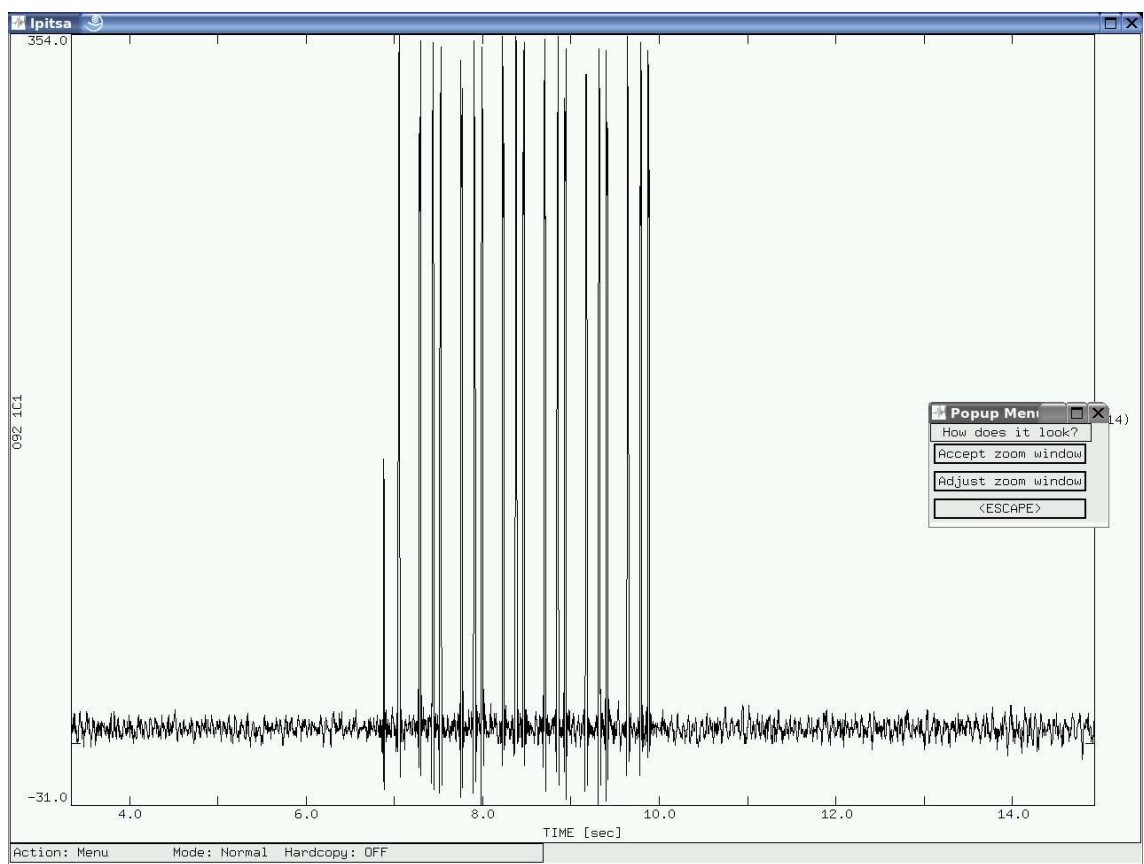
**Figura16.** Differenze dei primi arrivi delle onde P sulle componenti verticali della stazione CORS, traccia 1, e CORP tracce 2, 3 e 4 relative ai sensori 1, 11 e 21 dell'evento del 05/06/05..



**Figura17.** Esempio di registrazione su tutte le stazioni installate, dell'evento del 02/06/05 alle 10:12 GMT.



**Figura 18.** Spikes registrati dai sensori in pozzo (stazione CORP, 13 tracce da 1 ora ciascuna)



**Figura 19.** Dettaglio del segnale rappresentato in figura 18 (15 secondi di segnale).

## 4 Conclusioni.

L'esperimento eseguito a Cortemaggiore presso il pozzo Stogit 127 ha permesso di effettuare registrazioni di segnali sismici relative a diversi livelli di profondità con sensori in pozzo. Grazie alla collaborazione con ENI (E&P Division, Stogit e Snamprogetti div Aquater) è stato possibile usufruire di un pozzo profondo (1600 m), strumentato a partire da 944 m. di profondità. I sensori installati nel pozzo hanno una frequenza propria di 14 Hz e generalmente non sono considerati adatti per eseguire studi sismologici in senso stretto, come ad esempio localizzazione dei terremoti, studi di attenuazione o calcolo di magnitudo. In questo rapporto preliminare è stata verificata la possibilità di utilizzarli, ad esempio, anche per il picking dei primi arrivi delle registrazioni sismiche. Durante il periodo di funzionamento sono stati registrati tutti gli eventi sismici avvenuti nell'area, e sono state evidenziate le diversità delle tracce dovute, oltre alla diversa natura dei sensori utilizzati, alla differente profondità alla quale è stata registrata la forma d'onda. Per siti molto rumorosi come quelli presenti in Pianura Padana, installare una stazione sismica con sensori da pozzo, rappresenta l'unica soluzione per migliorare il rapporto segnale disturbo; i dati acquisiti durante l'esperimento confermano una soluzione di questo tipo ed indicano che anche geofoni per sismica attiva, se già esistenti, possono essere utili allo scopo. L'esperimento ha inoltre evidenziato, tranne un malfunzionamento nel firmware di un modem, la buona rispondenza delle soluzioni tecniche adottate per le registrazioni da differenti apparati di acquisizione.

## Ringraziamenti

Il lavoro non avrebbe potuto svolgersi senza la disponibilità e la preziosa collaborazione di molti dirigenti, ricercatori ed operatori dell'ENI S.p.A. Si ringraziano in particolare Lorenzo Barzaghi e Mario Baracchi (ENI. E&P Division), Gianluca Patrignani (SnamProgetti div. Aquater), Daniele Marzorati, Ugo Chiassoni e Marco Bertolotti (Stogit). Un particolare ringraziamento inoltre al collega Massimo Frapiccini (INGV) per aver progettato e costruito le protezioni termiche per i sensori Trillium. Si ringraziano Marco Massa e Gianlorenzo Franceschina per la lettura critica del testo.

## Bibliografia

Bormann, P. (2002). New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP) Volume 1 e 2. GeoForschungsZentrum Potsdam. pp. 1252.

D'Alema, E., S. Marzorati (2004). Metodologie per l'installazione e la gestione delle stazioni sismiche Mars88 Modem Control. *Rapporti Tecnici dell'INGV n° 21*.

Input/output Sensor SM-15 Geophone, URL: <http://www.i-o.com/content/includes/webdatasheets/121025%20.pdf>

Lennartz electronic GmbH, LE-xD Geophone Family. Documents Number: 990-0003 Part Number: 223-0000, -0022, -0030, -0034, -0035, and -0039., URL: <http://www.lennartz-electronics.de>. pp. 7.

Lennartz electronic GmbH, MARS88/MC Operating Manual. Documents Number: 990-0013 Part Number: 252-0009 with 352-0037 ., URL: <http://www.lennartz-electronics.de>. pp. 150.



Nanometrics Seismological Instruments. Trillium Seismometer User Guide (2003). URL: <http://www.nanometrics.ca> pp. 24.

Reftek 130-01 Broadband Seismic Recorder System Startup, Installation. 3/04/2003, URL: <http://www.reftek.com>. pp. 178.

AESI, Unità Acquisizione ed Elaborazioni Sismiche (2005). *Test stringa geofoni in pozzo Cortemaggiore 127*. Rapporto Tecnico n° GSIS-04-20-1, ENI S.p.a. E&P Division. pp. 24.

## **APPENDICE**